آلات التيار المستمر والمحولات

خواص المحركات

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

خواص المحركات

الجدارة: دراسة ومعرفة خواص الأنواع المختلفة لمحركات التيار المستمر وطرق بدء الحركة. أيضاً معرفة طرق التحكم في السرعة وكذلك حساب المفقودات والكفاءة.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

١. استنتاج معادلة العزم.
٢. معرفة أنواع المحركات من حيث طرق التغذية.
٣. دراسة منحنيات الخواص وتنظيم السرعة.
٤. دراسة طرق بدء الحركة والتحكم في السرعة
٥. مجالات الاستخدام للأنواع المختلفة للمحركات

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٥٪

الوقت المتوقع للتدريب: ٩ساعات.

الوسائل المساعدة: جهاز عرض (بروجيكتور).

متطلبات الجدارة: مقرر الدوائر الكهربية والقياسات والوحدة الأولى والثانية من هذا المقرر.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الوحدة الثالثة : خواص محركات التيار المستمر Chracteristics of DC Motors

تعتبر المحركات الكهربية القوة المحركة لكثير من التطبيقات الصناعية. وتستهلك المحركات الكهربية بأنواعها حوالي ٦٠٪ من الطاقة الكهربية في العالم. لذلك من المهم دراسة أداء وخواص تلك المحركات حتى يمكن استخدامها أفضل استخدام حسب طبيعة الحمل. وتعد محركات التيار المستمر من أهم الأنواع حيث تستخدم بكثرة في الجر الكهربي والروافع وصناعات الغزل والنسج ودرفلة الحديد وكذلك صناعات الورق والأسمنت، وذلك لما تتميز به من سهولة التحكم في سرعتها وإعطائها عزماً مرتفعاً خصوصاً عند بدء الحركة. وسوف نتناول في هذه الوحدة بالتفصيل نظرية عمل محركات التيار المستمر والتعرف على أنواعها المختلفة. أيضاً سوف نتناول دراسة أداء هذه المحركات والخواص الكهربية لها. ومن المهم أيضاً دراسة طرق التحكم في السرعة لهذه المحركات ووسائل بدء الحركة وذلك لتجنب التيار العالي عند البدء. وفي نهاية الوحدة نستطيع حساب المفقودات والكفاءة للمحركات ومعرفة تطبيق كل نوع ومميزاته وعيوبه.

٣- ١حساب عزم الدوران للمحرك الكهربي

سبق أن وتناولنا نظرية عمل محرك التيار المستمر حيث يقوم محرك التيار المستمر بتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية (طاقة حركية على عمود الدوران)، وذلك بتغذية ملفات المجال بالتيار اللازم لتوليد مجال مغناطيسي وتغذية ملفات المنتج من مصدر للجهد المستمر، يتسبب في مرور تيار مستمر في ملفات المنتج وذلك من خلال الفرش الكربونية، ويقوم هذا التيار بتوليد مجال مغناطيسي آخر متعامد على المجال الأول .ونتيجة لوجود مجالين مغناطيسيين متعامدين على بعضهما وثابتين بالنسبة لبعضهما لذلك ينشأ عزم دوران يتناسب مع حاصل ضرب المجالين في بعضهما. ويعمل هذا العزم المتولد على دوران العضو الدائر، ويمكن استنتاج معادلة العزم كما يلي:

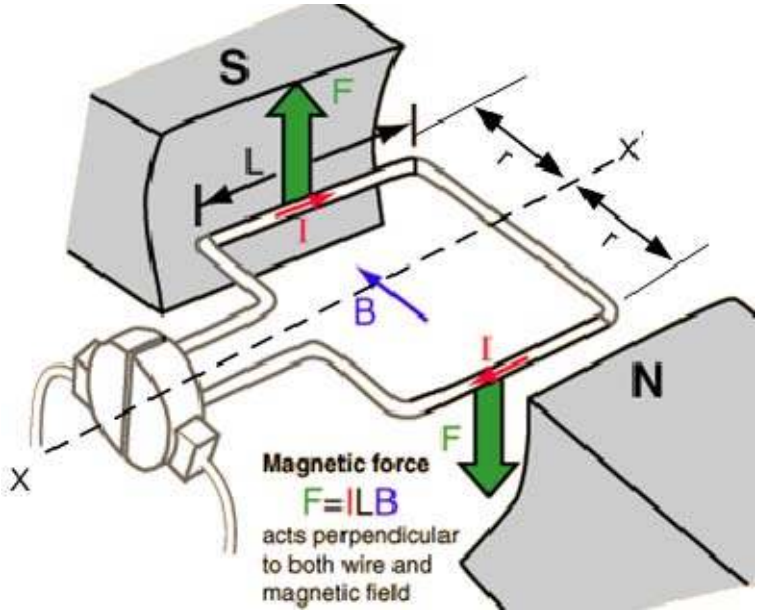
يمكن توضيح كيفية تولد العزم الكهرومغناطيسي في محرك التيار المستمر باستخدام قانون "فاراداى"، فإذا وضع موصل يحمل تياراً كهربياً في مجال مغناطيسي فإنه يتولد قوة تتسبب في حركة الموصل . ويبين شكل ١- ٢٢ ملفاً على شكل مربع موجود في مجال مغناطيسي منتظم له كثافة فيض B وعند مرور تيار I من الدائرة الخارجية في ذلك الملف، فإنه يتولد قوة F تؤثر في اتجاه يتحدد بقاعدة "فلمنج" لليد اليسرى على جانبي الملف، وإذا كان طول كلاً من جانبي الملف هو L وكثافة الفيض المغناطيسي B فإن القوة المؤثرة على كل جانب تعطى بالعلاقة:

$$F=BIL \qquad ٣-١$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

ويلاحظ أن القوتين متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه مما يتسبب في تولد عزم على الملف يتسبب في دورانه في اتجاه عقارب الساعة ويمكن ملاحظة أنه إذا عكس اتجاه تيار المنتج (الملف) أو اتجاه المجال المغناطيسي فإن اتجاه القوى على جانبي الملف سيعكس مما يتسبب في عكس العزم المتولد وبالتالي يدور الملف في عكس اتجاه عقارب الساعة

.



شكل ٣- ١ توليد العزم الكهرومغناطيسي من زوج من القوة على جانبي الملف

وللحصول على معادلة العزم يجب أن يكون هناك محور ارتكاز ليدور الملف حوله، وأفضل مكان لمحور الارتكاز هو منتصف المسافة بين جانبي الملف كما في شكل ٣- ١ حيث يمثل المحور XX' محور الارتكاز ويبعد مسافة r عن كل جانب من جانبي الملف فإذا كان التيار المار في كل موصل هو I_c فإن القوة المؤثرة يمكن حسابها من المعادلة ٣- ١ $F=BLI_C$ وبالتالي ينتج عزم دوران عند محور الارتكاز يتسبب في دوران الموصل وتكون قيمته:

$$T_c = F \cdot r$$
$$= BLI_C r$$

ويمكن كتابة المعادلة السابقة كما يلي

$$T_c = \frac{B \cdot 2\pi r L}{2\pi} I_c \qquad ٣-٢$$

حيث Tc هو العزم على الموصل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

وحيث أن πrL هى المساحة التي تقطعها خطوط المجال المغناطيسي وبذلك يكون الفيض المغناطيسي الذي يمكن التعبير عنه بالمعادلة (٣- ٣):

$$p\cdot\phi = B(2\pi rL) \qquad ٣-٣$$

حيث p عدد الأقطاب، بالتعويض عن B من المعادلة (٣- ٣) في المعادلة ٣- ٢ نحصل على العزم المؤثر على الموصل:

$$T_c = p\cdot\left(\frac{\phi}{2\pi}\right)I_c \qquad ٣-٤$$

فإذا كان التيار المار في المحرك هو I_a وعدد الموصلات الكلية هو Z وعدد دوائر التوازي هو a فإنه يمكن إيجاد العزم الكلي المتولد في المحرك كما يلي:

$$T = T_c\cdot Z = \frac{\phi}{2\pi} I_c\cdot Z\cdot p \qquad ٣-٥$$

وحيث إن التيار المار في الموصل I_c يساوي التيار الكلي مقسوماً على عدد دوائر التوازي:

$$I_c = \frac{I_a}{a} \qquad ٣-٦$$

بالتعويض من المعادلة ٣- ٦ في المعادلة ٣- ٥ نحصل على العزم الكلي كدالة في تيار المنتج والفيض المغناطيسي:

$$T = T_c\cdot Z\cdot p = \frac{p\phi}{2\pi a}\cdot Z\cdot I_a \qquad ٣-٧$$

ويمكن كتابة معادلة العزم على الصورة التالية:

$$T = K\phi I_a \qquad ٣-٨$$

حيث K ثابت يعرف بثابت العزم ويساوي $\frac{pZ}{2\pi a}$

المعادلة ٣- ٨ تبين أن عزم الدوران الكلي في المحرك يتناسب طردياً مع كل من ϕ ، I_a . ويمكن ملاحظة أن :

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$K\phi=\frac{E_b}{\omega} \qquad ٣-٩$$

حيث E_b هى القوة الدافعة العكسية والتي سبق الحديث عنها في الوحدة الأولى، وبالتعويض من المعادلة (٣- ٩) في المعادلة (٣- ٨) نجد أن

$$T=K\phi I_a=\frac{E_b I_a}{\omega}=\frac{E_b I_a}{\frac{2\pi n}{60}}=\frac{P}{\omega} \qquad ٣-١٠$$

مثال ٣- ١

محرك تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٢٤٠، ملفوف لفاً تموجياً ويدور عند سرعة ١٠٠٠ لفة/دقيقة. فإذا كان الفيض لكل قطب ٥ ميجاخط، أوجد القوة الدافعة العكسية. ثم احسب العزم المتولد إذا علمت أن تيار المنتج ٢٠٠ أمبير

الحل

p=٨ a=٢[wave winding] Z=٢٤٠ n=١٠٠٠ rpm

ϕ=٤ megalines/pole$=5\times10^{6}\times10^{-8}=0.05$ wb/pole

$$E_b=\frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60}=\frac{8}{2}\cdot ٠,٠٥\cdot ٢٤٠\cdot\frac{1000}{60}=٦٠٠$$ Volt

$$\omega=\frac{2\pi n}{60}=\frac{2\pi(1000)}{60}=١٠٤.٧٢$$ rad/sec

$$T=\frac{E_b I_a}{\omega}=\frac{600\cdot200}{104.72}=١١٤٥.٩$$ N.M

مثال٣- ٢

محرك تيار مستمر عدد أقطابه ٨ وعدد الموصلات الكلية ٩٦٠ ،ملفوف لفاً انطباقياً ويدور عند سرعة ٦٠٠ لفه/دقيقة. فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية المتولدة ٢٥٠ فولت، أوجد الفيض المغناطيسي لكل قطب. ثم احسب تيار المنتج إذا علمت أن العزم المتولد ١٠٠٠ نيوتن.متر

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحل

$p=٨$ $a=p[lap\ winding]$ $Z=٩٦٠$ $n=٦٠٠\ rpm$ $E_b=٢٥٠v$

$$E_b = \frac{p}{a}\phi Z\frac{n}{60} = \frac{8}{8}\cdot\phi\cdot٩٦٠\cdot\frac{600}{60} = ٢٥٠$$ Volt

$\phi = ٠.٠٢٦$ wb

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi(600)}{60} = ٦٢.٨٣$$ rad/sec

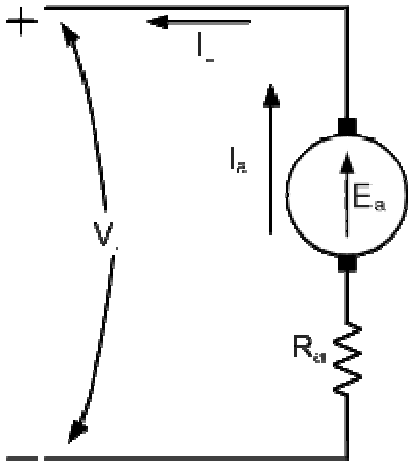
$$T = \frac{E_b I_a}{\omega}$$

$$I_a = \frac{\omega\cdot T}{E_b} = \frac{62.83\cdot1000}{250} = ٢٥١.٣٢$$ Amp.

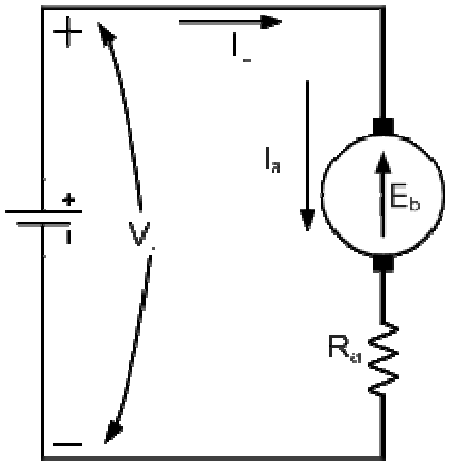
٣- ٢ أنواع المحركات Types of DC motors

في الوحدة الأولى قمنا بدراسة تركيب آلة التيار المستمر وسبق لنا معرفة أن آلة التيار المستمر من الممكن أن تستخدم كمولد كهربائي (يقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية) أو كمحرك كهربائي (يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية)، أى أنه لايوجد اختلاف من ناحية التركيب بين مولد التيار المستمر ومحرك التيار المستمر، ولمعرفة الاختلاف بين المحرك والمولد يمكن الرجوع إلى شكل ٣- ٢ ، حيث يوضح دائرة المنتج في كل من المولد والمحرك، ويمكن ملاحظة أن الفارق الوحيد بين الدائرتين هو فقط اتجاه تيار المنتج حيث يلاحظ أن التيار داخل في القطب الموجب للآلة في حالة المحرك بينما يكون خارجاً منه في حالة المولد، ويمكن القول إن اتجاه كل من تيار التنبيه وسرعة الدوران لا يتأثر بتغيير الآلة لدورها من مولد إلى محرك وبالعكس.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



(أ) دائرة المنتج للمولد



(ب) دائرة المنتج للمحرك

شكل ٣- ٢ مقارنة بين دائرة المنتج في كل من المحرك والمولد

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

ويجب مراعاة اتجاه تيار المنتج عند كتابة معادلات الجهد.

في حالة المولد : القوة الدافعة المتولدة=جهد الحمل+ هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$E_a = V_L + I_a R_a \qquad ٣-١١$$

أما في حالة المحرك: القوة الدافعة المتولدة(العكسية)=جهد المصدر- هبوط الجهد في ملفات المنتج

$$E_b = V_L - I_a R_a \qquad ٣-١٢$$

إن انعكاس اتجاه مرور تيار المنتج في ملفاته ينشىء فارقاً جوهرياً بين الحالتين وهذا الاختلاف ظهر في كتابة المعادلتين (٣- ١١)، (٣- ١٢). فبينما نجد أنه في حالة المولد تدفع القوة الدافعة الكهربية المتولدة التيار في الدائرة ضد هبوط الجهد في كل من مقاومة الحمل ومقاومة المنتج، نجد أنه في حالة المحرك يجب على جهد المنبع أن يدفع التيار في الاتجاه المضاد أي عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربية، التي تصبح في حالة المحرك مكافئة في عملها لمقاومة يكون هبوط الجهد فيها مضاداً لاتجاه الجهد الذي يسبب مرور التيار. لذلك يطلق عليها في هذه الحالة اسم القوة الدافعة الكهربية العكسية (المضادة)، وحيث أن القوة الدافعة العكسية تعتمد على سرعة الدوران فإذا كان المحرك في حالة سكون (قبل بدء الحركة) تكون سرعة المحرك مساوية للصفر وبالتالي فإن القوة الدافعة العكسية تكون مساوية للصفر وبالرجوع إلى المعادلة (٣□١٢) وبالتعويض عن القوة الدافعة العكسية بصفر نجد أن التيار يكون عالياً جداً ويسمى هذا التيار بتيار البدء ويمكن حسابه بالتعويض عن E_b في المعادلة (٣□١٢) بصفر لنحصل على تيار البدء من المعادلة (٣□١٣)

$$I_a = \frac{V_L}{R_a} \qquad ٣-١٣$$

وتيار البدء يكون عالي جداً ومن الممكن أن يتسبب ذلك في إتلاف ملفات المحرك، ولتقليل تيار البدء فإننا عادة نقوم بتوصيل مقاومة متغيرة على التوالي مع ملفات المنتج ويكون تيار البدء كما في المعادلة (٣□١٤) ويتم التخلص من هذه المقاومة تدريجياً بينما تزداد سرعة المحرك.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$I_{ast} = \frac{V_L}{R_a + R_{st}}$$ ٣-١٤

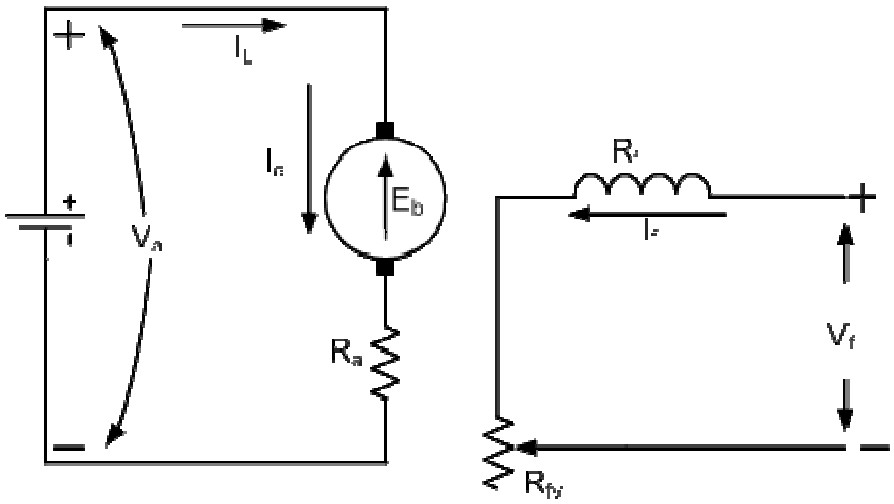
ويتم اختيار R_{st} بحيث لايتجاوز الحدود المسموح بها والتي عادة لا تزيد كثيراً عن القيمة المقننة. ومن المهم أن نعرف أن جميع محركات التيار المستمر لابد لها من استخدام مقاومة بدء أو أي طريقة أخرى لتقليل تيار البدء بحيث لا يشكل خطورة على المحرك.

تنقسم محركات التيار المستمر إلى نوعين رئيسين حسب طريقة تغذية ملفات المجال (كما في المولدات):

- محركات التيار المستمر ذات التغذية المستقلة(المنفصلة)
- محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية

٣- ٢- ١ محركات التغذية المنفصلة

من أمثلتها مولد التيار المستمر منفصل التغذية يتم تغذية ملفات المجال من مصدر مستقل عن دائرة المنتج شكل ٣- ٣ يعرض الدائرة الكهربائية الممثلة لمحرك التيار المستمر ومنفصل التغذية



شكل ٣- ٣ الدائرة الكهربية للمحرك المنفصل التغذية

<u>المعادلات التي تحكم عمل المحرك</u>

$$V_a = E_b + I_a R_a$$ ٣-١٥

$$E_b = K_v I_f \omega$$ ٣-١٦

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$V_f = I_f(R_f+R_{fv}) \qquad ٣-١٧$$

$$T_d= K_t I_f I_a \qquad ٣-١٨$$

$$T_d= T_L +B\omega \qquad ٣-١٩$$

وفي حالة ما يكون الاحتكاك مهملاً تتحول المعادلة (١٩□٣) إلى:

$$T_d= T_L \qquad ٣-٢٠$$

حيث:

V_a الجهد المسلط على ملفات المنتج (V)

E_b القوة الدافعة العكسية (V)

R_a مقاومة ملفات المنتج (Ω)

I_a تيار المنتج (A)

V_f الجهد المسلط على ملفات المجال (V)

R_f مقاومة ملفات المجال (Ω)

I_f تيار المجال (A)

K_v ثابت الجهد للمحرك

K_t ثابت العزم ثابت الجهد

T_d العزم المتولد (N.m)

T_L عزم الحمل (N.m)

ω سرعة المحرك (rad./sec)

B معامل الاحتكاك (N.m/rad./sec)

ويمكن ملاحظة أن ثابت العزم يساوى ثابت الجهد عددياً

مثال ٣- ٣:

محرك تيار مستمر من نوع التغذية المنفصلة يتم تغذية كل من دائرة المنتج ودائرة المجال من مصدر للتيار المستمر جهده ٤٤٠ فولت. إذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,١٥ أوم ومقاومة ملفات المجال ٣٠٠ أوم وثابت الجهد للمحرك ١,١٥ فولت/أمبير.راديان/ثانية، وعزم الحمل ١٠٠ نيوتن متر. أهمل مفاقيد اللاحمل والاحتكاك. احسب تيار المنتج وسرعة المحرك.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحل

$R_a = ٠,١٥\ \Omega$ $R_f = ٣٠٠\ \Omega$ $V_f = ٤٤٠$ V $V_a = ٤٤٠$ V

$K_v = ١,١٥$ V/A.rad./sec. $T_L = ١٠٠$ N.m

نتيجة لإهمال الاحتكاك فإن العزم المتولد = عزم الحمل أي أن:

$$T_d = T_L = ١٠٠\ \text{N.m}$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = ١,٤٦٧ \quad \text{Amp.}$$

$$I_a = \frac{T_d}{K_v I_f} = \frac{100}{(1.15)(1.467)} = ٥٩,٢٨ \quad \text{Amp}$$

$$E_b = V_a - I_a R_a = ٤٣١,١٠٧ \quad \text{Volt}$$

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{431.107}{(1.15)(1.467)} = ٢٥٥,٥٣٩ \quad \text{rad./sec}$$

$$n = \frac{60\omega}{2\pi} = ٢٤٤٠,٢١٧ \quad \text{rpm}$$

منحنيات الخواص

تمثل منحنيات الخواص لمحرك التغذية المنفصلة العلاقات بين كل من:

- السرعة مع تيار المنتج $n=f(I_a)$
- العزم مع تيار المنتج $T=f(I_a)$
- السرعة مع العزم $n=f(T)$

بالرجوع إلى المعادلة (٣-١٥) والمعادلة (٣-١٦) فإننا يمكننا كتابة المعادلة التي تصف العلاقة بين السرعة وتيار المنتج كما يلي:

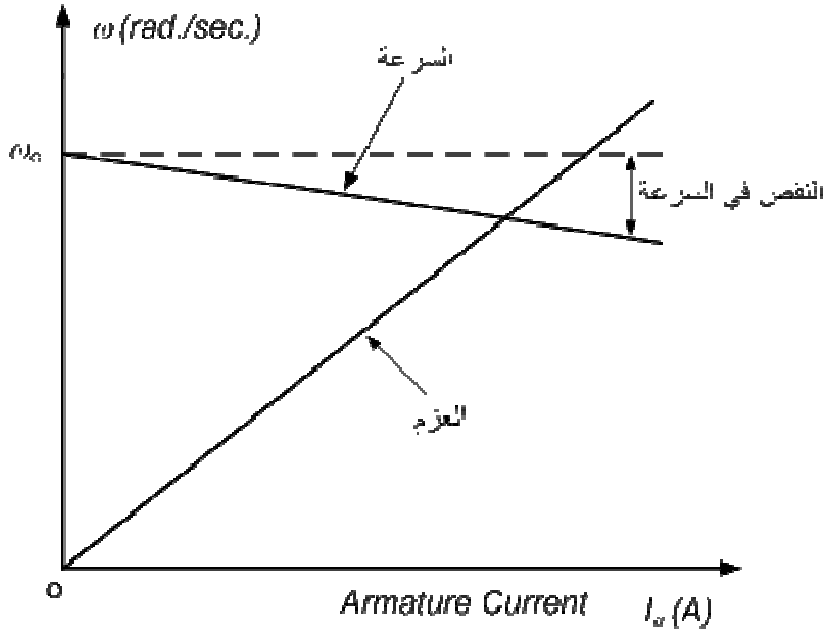
$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_f} = \frac{V_a - I_a \cdot R_a}{K_v I_f} = \frac{V_a}{K_v I_f} - \frac{I_a \cdot R_a}{K_v I_f}$$

بالرجوع إلى المعادلة السابقة وحيث أن تيار المجال ثابت القيمة نجد أن سرعة المحرك تبدأ من أعلى قيمة لها وهي السرعة عن اللاحمل $\omega_o = \frac{V_a}{K_v I_f}$ حيث يكون تيار المنتج مساوياً للصفر ثم تبدأ في

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

النقصان قليلاً مع زيادة الحمل (زيادة تيار المنتج) حيث تقل بالمقدار $\frac{I_a \cdot R_a}{K_n I_f}$ كما في شكل (٣- ٤). ويلاحظ أن قيمة سرعة اللاحمل تعتمد على قيمة الجهدالمسلط على أطراف المنتج. وبالتالي يمكن رسم عدد من المنحنيات الممثلة لعلاقة السرعة مع تيار المنتج عند جهود مختلفة.

وبالرجوع إلى المعادلة (١٨□٣) نجد أن العلاقة بين العزم وتيار المنتج علاقة طردية (علاقة خط مستقيم) حيث يزداد العزم المتولد كلما زاد تيار المنتج كما في شكل (٣- ٤). وحيث أن العلاقة بين تيار المنتج والعزم المتولد علاقة طردية، فإن العلاقة بين العزم والسرعة تكون مشابهة للعلاقة بين تيار المنتج والسرعة.



شكل ٤- ٣ منحنيات الخواص للمحرك المنفصل التغذية

استخدامات محرك التغذية المنفصلة:

يستخدم محرك التغذية المنفصلة في الحالات التي تحتاج إلى سرعة ثابتة تقريباً والتي يمكن أن تهبط فيها السرعة هبوطاً طفيفاً مع ازدياد الحمل، مثل آلات الورش كالمخارط والمقاشط، كما أنه يمكن أن يناسب آلات الغزل والنسج حيث يستفاد بمنظم السرعة لضبط سرعة دوران المحرك عند قيم مختلفة عند اللاحمل، ثم تهبط هذه السرعات هبوطاً طفيفاً مع الحمل. أيضاً يستخدم المحرك في ماكينات صناعة الورق والأخشاب والمضخات والدرفلة.

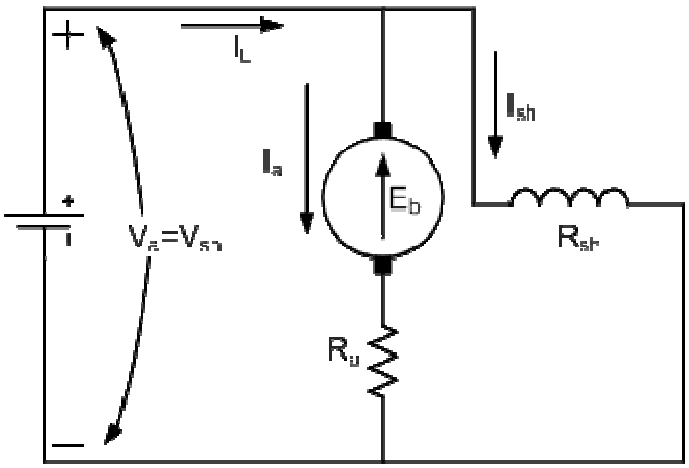
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٣- ٢- ٢ المحركات ذاتية التغذية

في هذا النوع من المحركات يتم توصيل ملفات المنتج والمجال معاً من نفس المصدر وعلى حسب طريقة توصيل ملفات المنتج والمجال يمكن تقسيم المحركات ذاتية التغذية إلى ثلاثة أنواع هى محركات التوازي ومحركات التوالي والمحركات المركبة. وسوف نتناول كلاً منها بالتفصيل فيما يلي:

٣- ٢- ٢- ١ محرك التوازي DC shunt motor

يوضح شكل ٣- ٥ الدائرة الكهربائية لمحرك التوازي ويلاحظ أن ملفات المجال (التنبيه) R_{sh} تكون متصلة على التوازي مع المنتج ويوصل معها بالتوالي مقاومة تنظيم المجال. أما ملفات المنتج R_a فيوصل معها بالتوالي مقاومة بدء الحركة Rst . ويتميز هذا النوع من المحركات بأنه يمكن اعتباره ذا مجال ثابت تقريباً.



شكل ٣- ٥ الدائرة الكهربائية لمحرك التوازي

المعادلات التي تحكم عمل المحرك

$$V_a = E_b + I_a R_a \qquad ٣-٢١$$

$$I_L = I_a + I_{sh} \qquad ٣-٢٢$$

$$E_b = K_v I_{sh} \omega \qquad ٣-٢٣$$

$$V_a = V_{sh} = I_{sh} R_{sh} \qquad ٣-٢٤$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$T_d = K_t I_{sh} I_a \qquad ٣-٢٥$$

$$T_d = T_L + B\omega \qquad ٣-٢٦$$

وفي حالة ما يكون الاحتكاك مهملاً تتحول المعادلة (٣-٢٦) إلى:

$$T_d = T_L \qquad ٣-٢٧$$

مثال ٣- ٤

محرك توازٍ موصل بمنبع جهد ٢٤٠ فولت ويدور بسرعة ٧٥٠ لفة/دقيقة وتيار المنتج قدره ٣٠ أمبير، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٠,٠٥ أوم، ثابت الجهد للمحرك ١,٥٢

أ. احسب عزم المحرك بالنيوتن.متر.

ب. احسب تيار المجال

ت. احسب مقاومة ملفات المجال

الحل

$V_L = V_a = V_{sh} = ٢٤٠$ V, $n = ٧٥٠$ rpm, $I_a = ٣٠$ A, $R_a = ٠,٠٥\Omega$,

$K_v = ١.٥٢$

$E_b = V_a - I_a R_a = ٢٤٠ - ٣٠(٠,٠٥) = ٢٣٨,٥$ Volt.

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 750}{60} = ٧٨,٥٤$ rad/sec.

$T = \frac{E_b I_a}{\omega} = \frac{238.5 \times 30}{78.54} = ٩١,١$ N.m.

$E_b = K_v I_{sh} \omega$

$٢٣٨.٥ = ١.٥٢(I_{sh})(٧٨.٥٤)$

$I_{sh} = ٢$ Amp.

$R_{sh} = \frac{V_{sh}}{I_{sh}} = \frac{240}{2} = ١٢٠$ Ohm.

مثال ٣- ٥

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

محرك توازٍ ذو أربعة أقطاب يعمل على منبع جهد ٥٠٠ فولت، عدد موصلات المنتج ٩٦٠ وملفوف لف تموجياً. يسحب المحرك تيار قدره ٥٢ أمبير وكان الفيض المغناطيسي لكل قطب ٣ ميجاخط. فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج والمجال هي ٠,٠٤ أوم و ٢٠٠ أوم على الترتيب. احسب سرعة المحرك وكذلك العزم.

.

الحل

p=٤, $V_L = V_a = V_{sh}$ =٥٠٠ V, Z=٩٦٠, I_L=٥٢ Amp., R_a=٠.٠٤ Ω,

R_{sh}=٢٠٠ Ω, ϕ=٣megalines = ٠.٠٣ wb

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{500}{200} = ٢.٥$$ Amp.

$$I_a = I_L - I_{sh} = ٥٢ - ٢.٥ = ٤٩.٥$$ Amp.

$$E_b = V_{in} - I_a R_a = ٥٠٠ - ٤٩.٥(٠.٠٤) = ٤٩٨.٠٢ \text{ V}$$

$$E_b = \frac{p}{a}\phi Z \frac{n}{60}$$

$$٤٩٨.٠٣ = \frac{4}{2}(3 \times 10^{6} \times 10^{-8}) \cdot 960 \frac{n}{60}$$

$$n = ٥١٢.٧٧$$ rpm.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 512.77}{60} = ٥٤,٣٣$$ rad/sec.

$$T = \frac{E_b I_a}{\omega} = \frac{498.03 \times 49.5}{54.33} = ٤٥٣,٧٥$$ N.m.

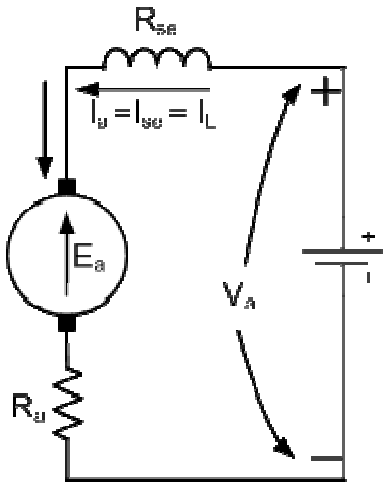
منحنيات الخواص والاستخدام

محرك التوازي يشبه إلى حد كبير محرك التغذية المنفصلة حيث يتم تغذية ملفات المجال من جهد المصدر مباشرة وبالتالي يكون تيار المجال تقريباً ثابتاً فنجد أن خواص واستخدامات محرك التوازي تكون مماثلة تقريباً لمحرك التغذية المنفصلة.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٣- ٢- ٢- ٢ محرك التوالي DC series motor

يوضح شكل ٣- ٦ الدائرة الكهربية لمحرك التوالي، حيث توصل ملفات المجال بالتوالي مع المنتج ويكون تيار المنتج هو نفسه تيار المجال،



شكل ٣- ٦ الدائرة الكهربائية لمحرك التوالي

المعادلات التي تحكم عمل المحرك

$$V_a = E_b + I_a(R_a + R_{se}) = E_b + I_a R_m \qquad ٣-٢٨$$

$$I_L = I_a = I_{se} \qquad ٣-٢٩$$

$$E_b = K_v I_{se} \omega \qquad ٣-٣٠$$

$$T_d = K_t I_{se} I_a = K_t I_a^{٢} = K_t I_{se}^{٢} \qquad ٣-٣١$$

$$T_d = T_L + B\omega \qquad ٣-٣٢$$

وفي حالة ما يكون الاحتكاك مهملاً تتحول المعادلة (٣-٢٦) إلى:

$$T_d = T_L \qquad ٣-٣٣$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

حيث أنَّ:

R_{se} مقاومة ملفات المجال الموصلة على التوالي مع ملفات المنتج

R_m مقاومة ملفات المحرك والتي تساوي مجموع مقاومة ملفات المجال مع ملفات المنتج

مثال ٣- ٦

محرك تيار مستمر من نوع التوالي موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت يسحب تيار مقداره ٥٠ أمبير عند سرعة دوران ١٠٠٠ لفة/دقيقه، مقاومة ملفات المنتج ١٥, أوم ومقاومة ملفات المجال ١, أوم. احسب العزم والقوة الدافعة العكسية ثم احسب ثابت الجهد للمحرك

الحل

V_a= ٢٢٠ V, I_a=٥٠ Amp., n=١٠٠٠rpm, R_a=٠,١٥ Ω, R_{se}=٠,١Ω,

$$E_b=V_a- I_a\,(R_a+R_{se})$$

$$=٢٢٠-٥٠\times(٠,١٥+٠,١) =٢٠٧,٥ \quad \text{V.}$$

$$\omega=\frac{2\pi n}{60}=\frac{2\pi\times1000}{60}= ١٠٤,٧٢ \quad \text{rad/sec.}$$

$$T=\frac{E_b I_a}{\omega}=\frac{207.5\times50}{104.72}= ٩٩.٠٧ \quad \text{N.m.}$$

$$T=K_t I_a^{٢}$$

$$K_t=\frac{T}{I_a^2}=\frac{99.07}{50^2}= ٠.٠٣٩٦$$

مثال ٣- ٧

في المثال السابق، إذا زاد عزم الحمل بنسبة ٢٥٪ احسب تيار المنتج وسرعة المحرك

الحل

$$T = ١,٢٥\times(٩٩,٠٧) = ١٢٣,٨٤ \quad \text{N.m.}$$

$$T=K_t I_a^{٢}$$

$$I_a=\sqrt{\frac{T}{K_t}}=\sqrt{\frac{123.84}{0.0396}}= ٥٥,٩٢ \quad \text{Amp.}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مثال ٣- ٨

محرك تيار مستمر من نوع التوالي ذو أربعة أقطاب موصل على منبع جهده ٢٢٠ فولت ويسحب تياراً مقداره ٥٢ أمبير عند الحمل الكامل. ملفوفاً لفاً تموجياً وعدد موصلاته الكلية ٦٣٠ والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠١٨ ويبر ، ومقاومة ملفات المنتج والمجال على الترتيب هي ٠,٢ أوم و٠,١ أوم. احسب سرعة دوران المحرك وكذلك عزم الدوران.

الحل

p=٤, V_a=٢٢٠ V, I_a=٥٢ Amp., Z=٦٣٠, ϕ=٠.٠١٨ wb, R_a=٠.٢Ω

R_{se}=٠.١Ω T_2=٠.٦T_1

$$E_b = V_a - I_a (R_a + R_{se})$$

$$= ٢٢٠ - ٥٢.(٠.٢+٠.١) = ٢٠٤.٤ \quad V.$$

$$E_b = \frac{p}{a}\phi Z \frac{n}{60}$$

$$٢٠٤.٤ = \frac{4}{2}(0.018) \cdot 630 \frac{n}{60}$$

$n = ٥٤١$ rpm.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 541}{60} = ٥٦.٦٥ \quad \text{rad./sec.}$$

$$T = \frac{E_b I_a}{\omega} = \frac{204.4 \times 52}{56.65} = ١٨٧.٦١ \quad \text{N.m.}$$

مثال ٣- ٩

في المثال السابق إذا انخفض عزم الدوران المطلوب إلى ٦٠٪ من قيمته عند الحمل الكامل، أوجد سرعة الدوران الجديدة

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

قلم الجزائر | WWW.DZPEN.COM

الحل

$$T \alpha I_a^{٢}$$

$$\therefore \frac{T_2}{T_1} = ٠.٦ = \frac{I_{a2}^2}{I_{a1}^2} = \frac{I_{a2}^2}{52^2}$$

$$I_{a٢} = \sqrt{0.6 \cdot 52^2} = ٤٠.٣ \quad \text{Amp.}$$

$$E_{b٢} = V_{in} - I_{a٢}(R_a + R_{se})$$

$$= ٢٢٠ - ٤٠.٣(٠.٢ + ٠.١) = ٢٠٨ \quad \text{V.}$$

$$\therefore \frac{E_{b2}}{E_{b1}} = \frac{n_2 \phi_2}{n_1 \phi_1} = \frac{n_2 I_{a2}}{n_1 I_{a1}}$$

$$\frac{208}{204.4} = \frac{n_2 \cdot 40.3}{541 \cdot 52}$$

$$n_{٢} = ٧١٠ \quad \text{rpm.}$$

منحنيات الخواص

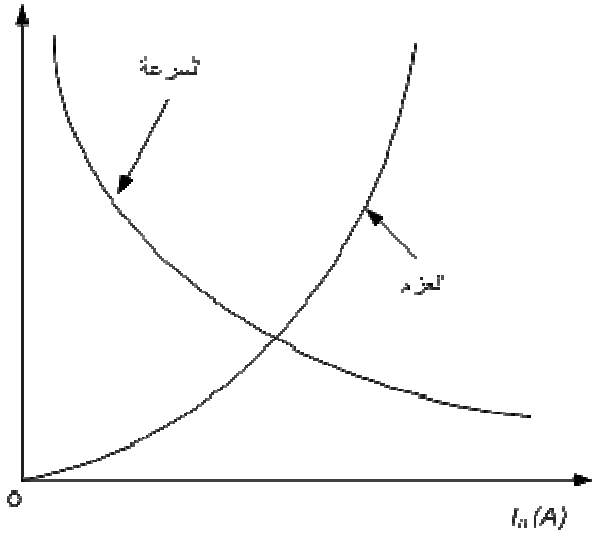
بالرجوع إلى المعادلة (٣□٢٨) والمعادلة (٣□٣٠) مع الأخذ في الاعتبار أن تيار المنتج يساوي تيار المجال فإننا يمكننا كتابة المعادلة التي تصف العلاقة بين السرعة وتيار المنتج كما يلي:

$$\omega = \frac{E_b}{K_v I_a} = \frac{V_a - I_a \cdot R_m}{K_v I_a} = \frac{V_a}{K_v I_a} - \frac{I_a \cdot R_m}{K_v I_a} = \frac{V_a}{K_v I_a} - \frac{R_m}{K_v}$$

بالرجوع إلى المعادلة السابقة وحيث أن تيار المجال هو نفسه تيار المنتج فإننا نجد أن سرعة المحرك في حالة اللاحمل تكون ∞ ولذلك فمن الضروري عند استخدام محرك التوالي أن يتم تحميله قبل بدء التشغيل ومع زيادة تيار الحمل تبدأ السرعة في النقصان بمعدل كبير حيث أن العلاقه بين السرعة وتيار المنتج علاقة عكسية كما في شكل (٣- ٧).

وبالرجوع إلى المعادلة (٣□٣١) نجد أن العزم يتناسب مع مربع تيار المنتج علاقة طردية، لذلك نجد أن منحنى خواص العزم مع التيار عبارة عن منحنى قطع ناقص (parabola) كما هو موضح في شكل (٣- ٧).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٣- ٧ منحنيات خواص العزم والسرعة مع تيار المنتج لمحرك التوالي

استخدامات محرك التوالي

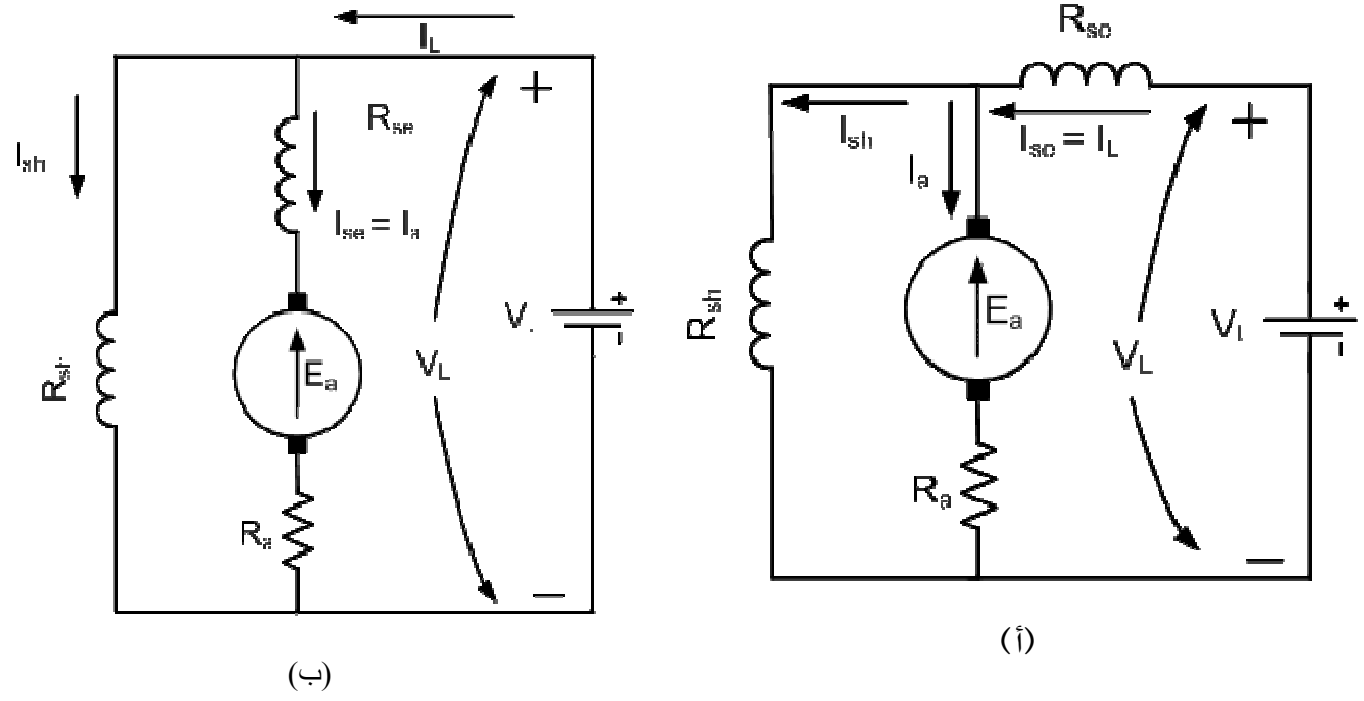
يتميز محرك التولي بأن عزم الدوران يتناسب طردياً مع مربع تيار المنبع (وهو تيار المنتج) بينما تتناسب السرعة عكسياً مع تيار المنتج (الحمل) بحيث تظل القدرة متناسبة مع تيار المنبع باعتبار جهد المنبع ثابت. معنى ذلك أن هذا النوع من المحركات قادر على مواجهة أحمال كبيرة دون الحاجة إلى تعدي الحدود المقبولة في أخذ القدرة من المنبع، نظراً لأن هبوط سرعة الدوران مع الأحمال الثقيلة يعمل على الحد من القدرة المأخوذة من المنبع. وهذا يجعل محرك التوالي أكثر ملائمة في حالات الجر الكهربي، حيث عزم البدء الكبير، وعلاوة على ذلك فإن استخدام محرك التوالي في أغراض الجر الكهربي ينفي احتمال الزيادة الكبيرة في السرعة نظراً لوجود حمل دائم على المحرك يتمثل في وزن القاطرة والعربات التي تجرها عندما تكون خالية. أيضاً يستخدم محرك التوالي مع الأوناش والروافع والمصاعد الكهربية.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

٣- ٢- ٢- ٣ المحرك المركب DC compound motor

تحتوي المحركات ذات التغذية المركبة على ملفات التوالي (series windings) وملفات التوازي (shunt windings) معاً، ويمكن تقسيم المحركات المركبة على حسب اتجاه المجال المغناطيسي الناتج من ملفات التوالي، حيث يمكن توصيل ملفات التوالي مع المنتج بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عنها في نفس اتجاه المجال المغناطيسي الناتج من ملفات التوازي، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل التراكمي (cumulative compound) أو توصل بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عنها مضاداً للمجال المغناطيسي الناتج من ملفات التوازي، وتسمى طريقة التوصيل في هذه الحالة بالتوصيل الفرقى (differential compound).

كما يمكن تقسيمها على حسب التوصيل الكهربائي لملفات التوازي والتوالي حيث يمكن توصيل ملفات التوازي إما مباشرة مع أطراف المنتج وتسمى طريقة التوصيل بتوصيل التوازي القصير (short-shunt)، أو توصل ملفات التوازي عبر الأطراف للدائرة الخارجية (المنتج مع ملفات التوالي) وتسمى طريقة التوصيل بالتوصيل التوازي الطويل (long-shunt)، وشكل ٣- ٨ يوضح الفرق بين طريقة توصيل التوازي القصير وطريقة التوازي الطويل، حيث يرمز لملفات التوالي se ولملفات التوازي sh .



شكل ٣- ٨ محرك التغذية المركب (أ)مركب قصير (ب) مركب طويل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

معادلات الجهد والتيار للمحرك القصير:

$$I_{se} = I_L \quad (٣\square٣٤)$$

$$I_L = I_{sh} + I_a \quad (٣\square٣٥)$$

$$E_b = V_L - I_a R_a - I_L R_{se} \quad (٣\square٣٦)$$

$$V_{sh} = V_L - I_L R_{se} = E_a - I_a R_a = I_{sh} R_{sh} \quad (٣\square٣٧)$$

$$E_b - K\omega\phi \quad (٣\square٣٨)$$

معادلات الجهد والتيار للمحرك الطويل:

$$I_{se} = I_a \quad (٣\square٣٩)$$

$$I_L = I_{sh} + I_a \quad (٣\square٤٠)$$

$$E_b = V_L - I_a(R_a + R_{se}) \quad (٣\square٤١)$$

$$V_{sh} = V_L \quad (٣\square٤٢)$$

$$E_b = K\omega\phi \quad (٣\square٤٣)$$

مثال ٣- ٧

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

محرك مركب طويل يسحب تياراً قيمته ٥٠ أمبير عند جهد ٢٢٠ فولت .ويدور بسرعة ١٢٠٠ لفة في الدقيقة احسب القوة الدافعة الكهربية العكسية، إذا كانت مقاومة المنتج ٠,٠٤ أوم، مقاومة ملفات التوالي ٠,٠١ أوم ومقاومة ملفات التوازي ١٢٥ أوم. ثم احسب العزم المتولد

الحل

V_L=٢٢٠ V, I_L=٥٠ Amp, R_a=٠,٠٤ Ω, R_{se}=٠,٠١Ω,

R_{sh}=١٢٥Ω

$$I_{sh} = \frac{V_L}{R_{sh}} = \frac{220}{125} = ١.٧٦ \quad \text{Amp.}$$

$I_a=I_L-I_{sh}$=٥٠-١.٧٦= ٤٨,٢٤ Amp.

$E_b=V_L-I_a(R_a+R_{se})$=٢٢٠□٤٨,٢٤(٠,٠٤+٠,٠١)=٢١٧,٥٨٨ volt.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 1200}{60} = ١٢٥,٦٦ \quad \text{rad./sec.}$$

$$T = \frac{E_b I_a}{\omega} = \frac{217.588 \times 48.24}{125.66} = ٨٣.٥٣ \quad \text{N.m.}$$

مثال ٣- ٨

محرك مركب طويل يسحب تيار قيمته ٥٠ أمبير عند جهد ٢٢٠ فولت. إذا كانت مقاومة المنتج ٠,٠٤ أوم، مقاومة ملفات التوالي ٠,٠١ أوم ومقاومة ملفات التوازي ١٢٥ أ وم. إذا كانت سرعة المولد ١٢٠٠ لفة في الدقيقة وكفاءة المحرك ٨٥٪. احسب

٧. القوة الدافعة الكهربية العكسية.
٨. قدرة الدخل
٩. قدرة الخرج
١٠. العزم على عمود الدوران
١١. المفاقيد النحاسية في المولد
١٢. المفاقيد الحديدية

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

الحل

V_L=٢٢٠ v, I_L=٥٠ Amp, R_a=٠,٠٤ Ω, R_{se}=٠,٠١Ω,

R_{sh}=١٢٥Ω, n = ١٢٠٠ rpm, η = ٠.٨٥

٧. حساب القوة الدافعة العكسية

$$I_{sh} = \frac{V_L}{R_{sh}} = \frac{220}{125} = ١.٧٦ \quad \text{Amp.}$$

$I_a=I_L-I_{sh}$=٥٠-١.٧٦= ٤٨,٢٤ Amp.

$E_b=V_L-I_a(R_a+R_{se})$=٢٢٠□٥١,٧٦(٠,٠٤+٠,٠١)= ٢١٧,٥٨٨ Volt

٨. حساب قدرة الدخل

$P_{in} = V_L I_L = ٢٢٠(٥٠) = ١١$ kwatt.

٩. حساب قدرة الخرج

$P_{out} = \eta \cdot P_{in} = ٠.٨٥\ (١١) = ٩.٣٥$ kwatt.

١٠.العزم على عمود الدوران

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1200}{60} = ١٢٥,٦٦ \quad \text{rad/sec.}$$

$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{9350}{125.66} = ٧٤,٤١ \quad \text{N.m.}$$

١١. المفاقيد النحاسية في المحرك

المفاقيد النحاسية = المفاقيد النحاسية في المنتج +المفاقيد النحايسة في ملفات التوالى +المفاقيد النحاسية في ملفات التوازي

$P_{culosses} = P_{cua}+P_{cush}+P_{cuse}$

$P_{culosses} = I_a^{٢}(R_a+R_{se})+ I_{sh}^{٢}(R_{sh})$

$P_{culosses}$=(٤٨,٢٤)^{٢}(٠,٠٤+٠,٠١) + (١,٧٦)^{٢}(١٢٥) = ٥٠٣,٥٥ watt

١٢.المفاقيد الحديدية والميكانيكية

$P_{losses} = P_{in} - P_{out}$

$P_{losses} = ١١٠٠٠ - ٩٣٥٠ = ١٦٥٠$ watt

$P_{mech} + P_i = P_{losses} - P_{culosses} = ١٦٥٠ - ٥٠٣,٥٥ = ١١٤٦,٤٥$ watt

مثال ٣- ٩

محرك مركب قصير يغذي حملاً بتيار قيمته ٥٠ أمبير عند جهد ٢٢٠ فولت. إذا كانت مقاومة المنتج ٠,٠٤ أوم، مقاومة ملفات التوالي ٠,٠١ أوم ومقاومة ملفات التوازي ١٢٥ أوم. إذا كانت سرعة المولد ١٢٠٠ لفة في الدقيقة وكفاءة المحرك ٩٠٪. احسب:

٧. القوة الدافعة الكهربية العكسية.
٨. قدرة الدخل.
٩. قدرة الخرج.
١٠. العزم على عمود الدوران.
١١. المفاقيد النحاسية في المحرك.
١٢. المفاقيد الحديدية.

الحل

V_L=٢٢٠ v, I_L=٥٠Amp, R_a=٠,٠٤ Ω, R_{se}=٠,٠١Ω,

R_{sh}=١٢٥Ω, n = ١٢٠٠ rpm, η = ٠.٨٥

٧. حساب القوة الدافعة المتولدة

$V_{sh} = V_L - I_L R_{se}$ = ٢٢٠ - ٥٠(٠,٠١) =٢١٩,٥

$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{219.5}{125}$ =١,٧٥٦ Amp.

$I_a = I_L - I_{sh}$ = ٥٠□١,٧٥٦ = ٤٨,٢٤٤ Amp.

$E_b = V_L - I_L R_{se} - I_a(R_a)$=٢٢٠□٥٠(٠,٠١) – ٤٨,٢٤٤(٠,٠٤) = ٢١٧,٥٧ Volt.

٨. حساب قدرة الدخل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$P_{in} = V_L I_L = ٢٢٠(٥٠) = ١١$ kwatt.

٩. حساب قدرة الخرج

١٠. $P_{out} = \eta \cdot P_{in} = ٠.٩ (١١) = ٩.٩$ kwatt.

١١. العزم على عمود الدوران

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1200}{60} = ١٢٥,٦٦$$ rad/sec.

$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{\omega} = \frac{9900}{125.66} = ٧٨,٧٨$$ N.m.

١٢. المفاقيد النحاسية في المولد

المفاقيد النحاسية = المفاقيد النحاسية في المنتج +المفاقيد النحايسة في ملفات التوالى +المفاقيد النحاسية في ملفات التوازي

$P_{culosses} = P_{cua} + P_{cush} + P_{cuse}$

$P_{culosses} = I_a^{٢}(R_a) + I_{sh}^{٢}(R_{sh}) + I_{se}^{٢}(R_{se})$

$P_{culosses} = (٤٨,٢٤٤)^{٢}(٠,٠٤) + (١,٧٥٦)^{٢}(١٢٥) + (٥٠)^{٢}(.٠١) = ٥٠٣,٥٤$ watt

١٣. المفاقيد الحديدية والميكانيكية

$P_{losses} = P_{in} - P_{out}$

$P_{losses} = ١١٠٠٠ - ٩٩٠٠ = ١١٠٠$ watt

$P_{mech} + P_i = P_{losses} - P_{culosses} = ١١٠٠ - ٣٠٣,٥٤ = ٧٦٩,٤٦$ watt

منحنيات الخواص

تعتمد خواص المحرك المركب على شدة المجال المغناطيسي المحصل والناتج من ملفات التوالي وملفات التوازي وملفات المنتج معاً. وتلعب ملفات التوالي في هذه الحالة دوراً مهماً في تحديد خواص المحرك على حسب طريقة توصيلها (اتجاه التيار فيها) ومقدار تأثيرها على المجال المحصل عند الأحمال المختلفة وبناءً على ذلك يمكن للمحرك أن يكون أحد الأنواع الثلاثة التالية:

- **محرك مركب تراكمي (Comulative compound motor):**

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

في هذه الحالة يكون المجال المغناطيسي الناتج من ملفات التوالي مساعداً للمجال الناتج من ملفات التوازي، وعلى ذلك فإن قيمة المجال المحصل في هذا النوع تزداد كلما ازداد الحمل فتنخفض السرعة بمقدار يتوقف على طريقة إعداد ملفات التوالي ، ويوضح شكل ٣- ٩ منحنى خواص السرعة مع تيار الحمل .

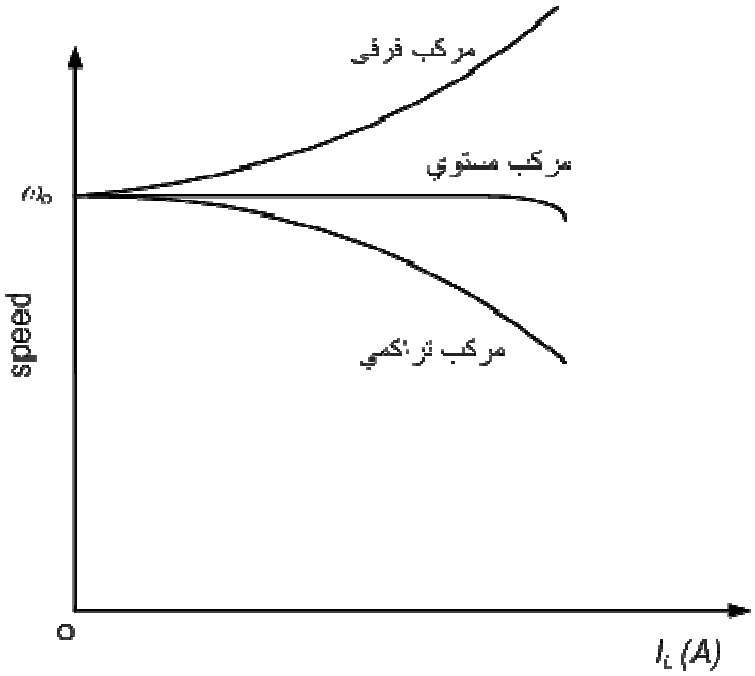
- **محرك مركب مستوي (Level compound motor)** :

في هذه الحالة يكون المجال المغناطيسي الناتج من ملفات التوالي مضاداً للمجال الناتج من ملفات التوازي، ولكن المجال الناتج من ملفات التوالي يضبط بحيث يحافظ على قيمة المجال المحصل ثابتة على الرغم من تغير الحمل، فتظل سرعة المحرك تقريباً ثابتة عند الأحمال المختلفة، كما هو موضح في شكل ٣- ٩.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

- محرك مركب فرقي (Differential compound motor) :

في هذه الحالة تعطى ملفات التوالي مجالاً مغناطيسياً يضاد اتجاه مجال ملفات التوازي وذلك عند مرور التيار فيها. وبذلك تقل قيمة المجال المغناطيسي كلما ازداد الحمل على المحرك مما يؤدي إلى زيادة سرعة المحرك كما هو واضح في شكل ٣- ٩.



شكل ٣- ٩ منحنى الخواص للمحرك المركب

استخدامات المحرك المركب:

يمكن استخدام المحرك المركب المستوي كبديل عن محرك التوازي، وذلك للأحمال التي تحتاج إلى سرعة ثابتة على الرغم من تغير الحمل. أما المحرك المركب الفرقي فيستخدم في درفلة الحديد (Rolling mills)، فعند دخول لوح الحديد بين الدرفيلين يزداد الحمل على المحرك وبالتالي تميل

السرعة إلى الانخفاض، فيتم تعويضها بفعل عمل المحرك، وبالتالي تظل السرعة ثابتة على الرغم من الزيادة المفاجئة في الحمل.

٣- ٣ طرق بدء الحركة Starting Methods

سبق لنا معرفة أنَّ القوة الدافعة العكسية في محركات التيار المستمر (جميع الأنواع) تكون مساوية للصفر عند بدء التشغيل وذلك بسبب اعتمادها على سرعة المحرك (سرعة المحرك =صفراً لحظة البدء)، لذا فإن تيار البدء قد يصل إلى قيم عالية جداً إذا لم يتم ضبط قيمة هذا التيار لذا فإن الهدف من

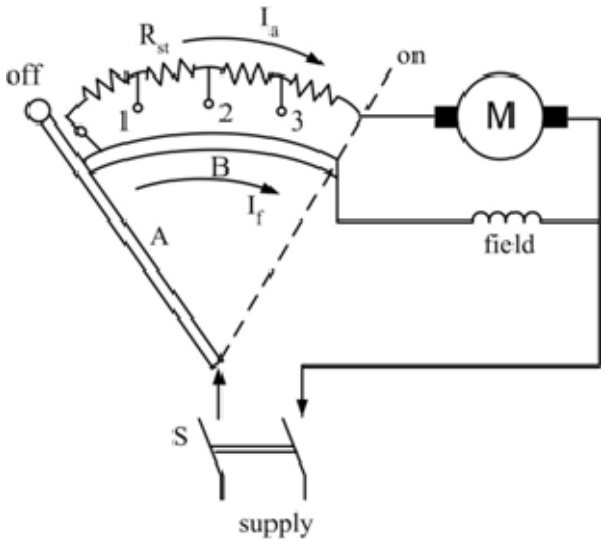
WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

بدء الحركة لمحركات التيار المستمر هو تقنين التيار المسحوب لحظة البداية. بحيث لايتجاوز حدود معينة يتم تحديدها بناءً على القيمة المقننة للمحرك وعلى قدرته المقننة. ولتنفيذ ذلك فإننا نقوم عادة بإضافة مقاومة لدائرة المنتج أثناء عملية البدء ويتم التخلص منها تدريجياً حتى تصل السرعة إلى القيمة المقننة. ولذلك يجب استخدام وسيلة بدء حركة أو ما يسمى ببادئ الحركة (starter) وهو عبارة عن مقاومة متغيرة توصل على التوالي مع المنتج وهذه المقاومة بدورها تحد من قيمة التيار إلى القيمة المسموح بها، فعندما يتحرك المنتج تتولد قوة دافعة عكسية (مضادة) تقلل من قيمة التيار المار وبالتالي تغير هذه المقاومة إلى قيمة أصغر حتى يصل المحرك إلى سرعته المقننة فتصل قيمة المقاومة إلى الصفر.

٣- ٣- ١ بادئ الحركة اليدوي

في المحركات الصغيرة يستعمل بادئ حركة يدوي وهو عبارة عن مقاومة من عدة أجزاء توصل على التوالي مع المنتج، وتخرج هذه المقاومة على مراحل حتى يصل المحرك إلى سرعته النهائية تكون هذه المقاومات قد أخرجت كلياً من الدائرة، وعندئذ يكون المحرك موصلاً مباشرة بمنبع الجهد. يبين شكل ٣- ١٠ بادئ الحركة من هذا النوع لمحرك توازٍ، وفيه الذراع (A) يلامس نقطة التماس المتصلة بمقاومة بدء الحركة Rst وفي نفس الوقت يلامس القوس النحاس (B) الذي يغذي ملفات التوازي وبهذا الترتيب نجد أنه عند البداية تكون قيمة المقاومة الكلية مضافة إلى مقاومة المنتج وبذلك يقل تيار البدء، ثم بعد ذلك نبدأ في تحريك الذراع (A) ليصل إلى النقطة رقم ١ ثم ٢ ثم ٣ إلى أن يصل إلى الوضع on تكون المقاومة قد خرجت من الدائرة ويكون الجهد المسلط على المنتج هو جهد المنبع ويدور المحرك عند السرعة المقننة. ولكن من عيوب استخدام البادئ اليدوي أنه بعد فصل المفتاح الرئيسي (S) أي بعد فصل منبع الجهد عن المحرك لإيقافه يبقى الذراع عند وضع التشغيل (on) ويترتب على ذلك أنه عند بدء الحركة مرة أخرى يكون المنتج موصلاً مباشرة بالمنبع ولذا يجب بعد إيقاف المحرك إرجاع الذراع إلى وضع عدم التشغيل (off).

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر



شكل ٣- ١٠ مخطط بادئ الحركة اليدوي

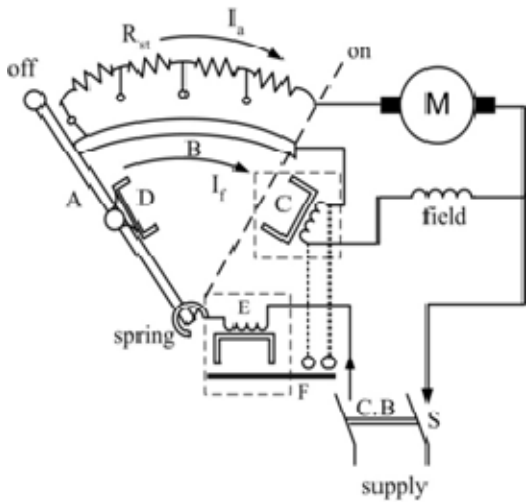
٣- ٣- ٢ بادئ الحركة اليدوي مع العودة لوضع البدء أتوماتيكياً

يستخدم بادئ الحركة اليدوي في محركات التيار المستمر ذات قدرات أعلى من ٢٠ حصان وهو مزود بملف (متمم) فوق الحمل (overload) الذي يفصل المحرك عن المنبع عند زيادة الحمل كما يوجد أيضاً قاطع أتوماتيكي (circuit breaker) للقيام بعمل المفتاح الرئيسي (s) عند حدوث قصر في الدائرة. الشكل ٣- ١١ يبين مخطط لترتيب بدء حركة محركات التوازي والمركبة. في البداية يكون الذراع A عند الوضع off، عند توصيل المفتاح S يتصل منبع الجهد بالقاطع الأوتوماتيكي ويمر تيار في ملف المتمم E ومنه إلى الذراع A ثم القوس النحاس B فالملف الجاذب C وأخيراً ملفات المجال وملفات المنتج، وعند هذه اللحظة تكون مقاومة البادئ الكلية موصلة على التوالي مع المنتج وبالتالي يقل تيار البدء. عند مرور تيار في ملف الجاذب C يتولد مجال مغناطيسي يعمل على جذب الحافظة D إلى الجاذب C وبالتالي يبدأ الذراع A في الحركة متجهاً إلى الجاذب C . ويبدأ خروج أجزاء من مقاومة البادئ Rst تدريجياً إلى أن يصل الذراع A إلى الوضع on تكون مقاومة البادئ قد خرجت كلياً من الدائرة وأصبح جهد المنبع مسلطاً على المنتج.

عند فتح المفتاح الرئيسي S لإيقاف المحرك فإن المجال الناشئ عن مرور التيار في ملف الجاذب C يزول وينتج عن ذلك أن يترك المغناطيس الكهربي الحافظة D فيعود الذراع A من وضع التشغيل on إلى وضع عدم التشغيل off بواسطة زنبرك (spring) متصل بالزراع A وقاعدة البادئ. أيضاً يوجد بالبادئ متمم E يحتوى على ملف ومغناطيس الكهربائي وحافظة F، يمر بالملف تيار الخط فعند زيادة الحمل تنجذب الحافظة F للمغناطيس الكهربي للمتمم E، ومثبت بالحافظة قطعة من النحاس تعمل على قفل

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

مسار التوصيل فيحدث قصراً على طرفي ملف الجاذب C ويترتب على ذلك أن يتلاشى المغناطيس الكهربي فيترك الحافظة D وبالتالي يعود الذراع A بفعل الزنبرك إلى وضع عدم التشغيل ويقف المحرك.



شكل ٣- ١١ مخطط بادئ حركة أوتوماتيكي

٣- ٤ تنظيم السرعة Speed Control

تحتاج كثير من التطبيقات العملية إلى محركات يمكن التحكم في سرعتها على مدى واسع . وتعتبر محركات التيار المستمر أحد أهم المحركات التي يمكن التحكم في سرعتها بسهولة كما يتضح من المعادلات الآتية:

أولا: محرك التغذية المنفصلة

العلاقة التي تربط السرعة بالمتغيرات المختلفة يمكن كتابتها كما يلي:

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_a}{K_v I_f}$$

ثانيا: محرك التغذية التوالي

العلاقة التي تربط السرعة بالمتغيرات المختلفة يمكن كتابتها كما يلي:

$$\omega = \frac{V_a - I_a R_m}{K_v I_a}$$

بالرجوع إلى المعادلتين السابقتين نجد أنه يمكن التحكم في السرعة إما عن طريق مقاومة متصلة مع المنتج على التوالي أو عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك وإما عن طريق تغير الفيض المغناطيسي عن طريق دائرة المجال.

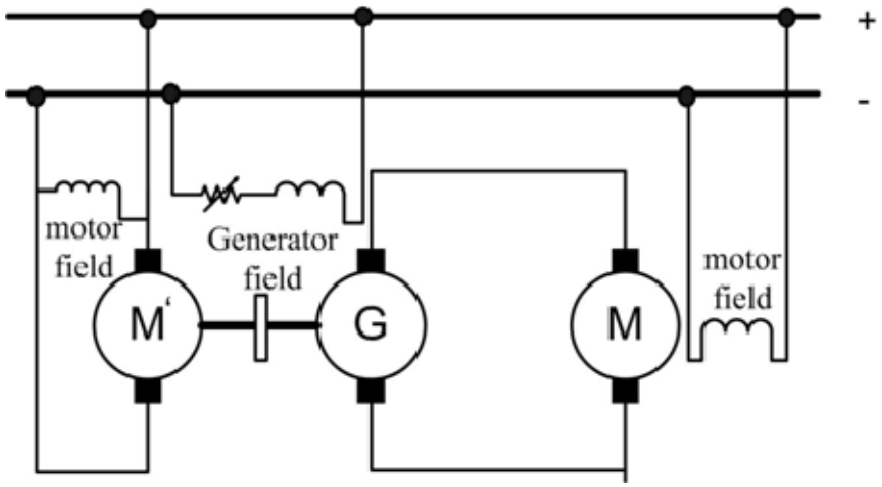
- **أولاً: استخدام مقاومة متغيرة على التوالي مع ملفات المنتج**

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

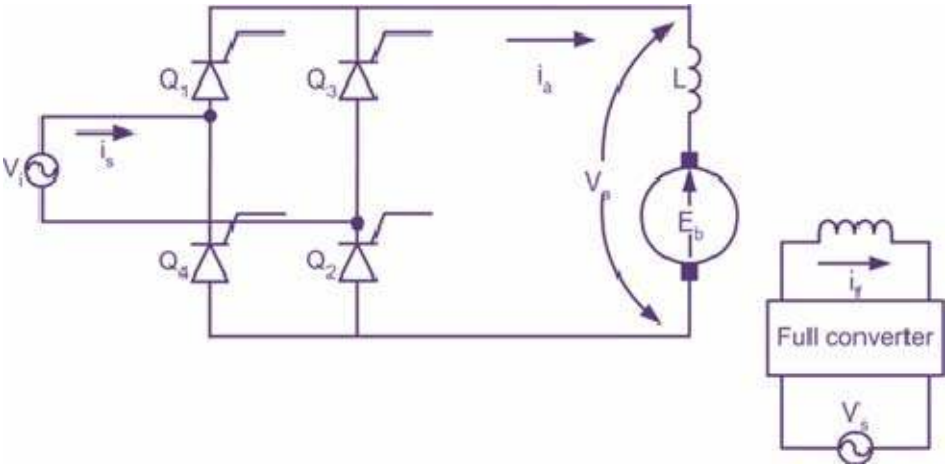
في هذه الطريقة لتنظيم السرعة تستخدم مقاومة متغيرة توصل بالتوالي مع دائرة المنتج، فإذا زادت المقاومة تقل السرعة وإذا قلت المقاومة تزداد السرعة وتتميز هذه الطريقة بالبساطة ولكن عيوبها كثيرة مثل الفقد الكهربي العالي وكبر الحجم والوزن بالإضافة إلى تأثيراتها السلبية على البيئة المحيطة.

- **ثانياً: تنظيم السرعة بالتحكم في الجهد المسلط على أطراف المنتج**

يمكن الحصول على مدى أوسع لتنظيم السرعة عن طريق الجهد المسلط على أطراف المحرك، وتتميز هذه الطريقة بالإضافة إلى مدى التحكم الواسع بالعلاقة الخطية بين السرعة والجهد المسلط على أطراف المحرك بمعنى أنه إذا زاد الجهد زادت السرعة والعكس بالعكس، ومن عيوب هذه الطريقة أنها لاتصلح للحصول على سرعات أكبر من السرعة المقننة (لماذا؟)، ويمكن التحكم في هذا الجهد باستخدام طريقة "وورد ليونارد" كما هو موضح في شكل ٣- ١٢، حيث يغذى المحرك المراد تنظيم سرعته M من مولد محكوم G، وهذا المولد يدار بسرعة ثابتة من خلال محرك تيار مستمر آخر M'، وعن طريق التحكم في مجال المولد يمكن تغيير الجهد المتولد على أطرافه وبالتالي الجهد المغذي للمحرك المراد تنظيم سرعته. ومن عيوب هذه الطريقة هي التكلفة الكلية لنظام التحكم. ولكن الآن تستخدم دوائر إلكترونيات القدرة للتحكم في الجهد المستمر المغذي للمحرك مباشرة كما في شكل ٣- ١٣، حيث يتم استخدام موحد أحادي الوجه محكوماً للسيطرة على الجهد المسلط على أطراف المنتج وذلك بالتحكم في زاوية إشعال الموحد.



شكل ٣- ١٢ تنظيم السرعة لمحرك توازٍ باستخدام طريقة "وورد ليونارد"



شكل ٣- ١٣ تنظيم السرعة لمحرك تغذية منفصلة باستخدام موحد محكوم في دائرة المنتج

- **ثالثاً: تنظيم السرعة عن طريق المجال (flux control)**

تعتبر طريقة التحكم عن طريق المجال من الطرق البسيطة القليلة التكلفة، حيث تستخدم مقاومة تنظيم المجال بقدرة منخفضة، وعن طريقها يتم التحكم في تيار المجال وبالتالي الفيض المغناطيسي وهذه الطريقة يمكن أن تعطي سرعات أعلى من السرعة المقننة للمحرك ولكن هذا يتسبب في زيادة الشرر الكهربي في المحرك وحدوث مشاكل ميكانيكية نتيجة زيادة السرعة. كما أن تقليل تيار المجال يتسبب في ضعف العزم المتولد كما أنها لاتصلح للحصول على سرعات أقل من السرعة المقننة.

مثال٣- ١٠

محرك تيار مستمر من نوع التوازي يغذي حمل قدرته ١٧٥ حصان عند الحمل الكامل ويدور عند سرعة ١٠٠٠ لفة/دقيقة، وموصل على منبع جهد ٥٥٠ فولت. وكانت الكفاءة ٩٠٪ ومقاومة ملفات التوازي ٢٧٥ أوم ومقاومة ملفات المنتج ٠,١ أوم. أوجد الآتي:

- المفقودات الحديدية والميكانيكية وكذلك عزم الدوران عند الحمل الكامل
- سرعة المحرك إذا خفض العزم إلى ٦٠٪ من العزم عند الحمل الكامل ووصلت مقاومة ٢,٠ أوم على التوالي مع ملفات المنتج.

الحل

HP=١٧٥, n=١٠٠٠rpm, V_a=٥٥٠V, η=٩٠%, R_{sh}=٢٧٥Ω, R_a=٠.١Ω

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$$٠.٩ = \frac{175\times746}{P_{in}}$$

$P_{in} = ١٤٥.٠٥٥$ kwatt

$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$

$١٤٥.٠٥٥ = ٥٥٠ \times I_{in}$

$I_L = ٢٦٣.٧٣$ Amp.

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{I_{sh}} = \frac{V_a}{I_{sh}} = \frac{550}{275} = ٢$$ Amp.

$I_a = I_L - I_{sh} = ٢٦٣.٧٣ - ٢ = ٢٦١.٧٣$ Amp.

$P_{cu} = I_a^{٢}R_a + I_{sh}^{٢}R_{sh} = (٢٦١.٧٣)^{٢} \times ٠.١ + (٢)^{٢} \times ٢٧٥ = ٧٩٥٠.٢٦$ watt.

$P_{losses} = P_{in} - P_{out} = ١٤٥٠٥٥ - ١٧٥ \times ٧٤٦ = ١٤٥٠٥$ watt.

$P_i + P_{mech} = P_{losses} - P_{cu} = ١٤٥٠٥ - ٧٩٥٠.٢٦ = ٦٥٥٤.٧٤$ watt.

$E_b = V_a - I_aR_a = ٥٥٠ - ٢٦١.٧٣ \times ٠.١ = ٥٢٣.٨٣$ Volt.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi\times1000}{60} = ١٠٤.٧٢$$ rad/sec.

$$T = \frac{E_b I_a}{\omega} = \frac{523.83\times261.73}{104.72} = ١٣٠٩.٢٢$$ N.m.

$T \alpha \phi I_a$

حيث إن تيار المجال ثابت، يكون ϕ ثابت

$\therefore T \alpha I_a$

$$\therefore \frac{T_1}{T} = \frac{I_{a1}}{I_a}$$

$I_{a1} = ٠,٦ I_a = ٠,٦ \times ٢٦١,٧٣ = ١٥٧,٠٤$ Amp.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

$E_{b1} = V_a - I_{a1}R_a = ٥٥٠ - ١٥٧.٠٤ \times ٠.١ = ٥٣٤.٣$ Volt.

$T_1 = \frac{E_{b1} I_{a1}}{\omega_1} = \frac{534.3 \times 157.04}{\omega_1} = ٠.٦ \times ١٣٠٩.٢٢ = ٧٨٥.٥٣$ N.m.

$\therefore \omega_1 = ١٠٦.٨١٥$ rad/sec.

$n = \frac{60 \times \omega}{2\pi} = \frac{60 \times 106.815}{2\pi} = ١٠٢٠$ rpm.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

أسئلة وتمارين على الوحدة الثالثة

١- ما أنواع محركات التيار المستمر ؟ مع ذكر استخدامات كل نوع.

٢- اشرح منحنيات الخواص لمحرك التوالي والمحرك المركب.

٣- اشرح طرق تنظيم السرعة لمحركات التيار المستمر.

٤- هل يمكن توصيل محركات التيار المستمر مباشرة إلى منبع جهد ثابت؟ علل اذكر السبب لإجابتك.

٥- اشرح طرق بدء حركة محركات التيار المستمر، موضحا بالرسم استخدام المقاومة الأوتوماتيكية كوسيلة بدء للمحركات كبيرة القدرة.

٦- في المحركات المنفصلة التغذية، ماذا يحدث لو وصل المحرك إلى منبع الجهد بدون تغذية ملفات المجال؟

٧- محرك تيار توازٍ مستمر ٤ أقطاب- ٢٢٠ فولت يحتوي المنتج على ٥٤٠ موصلاً ملفوفاً لفاً انطباقياً، يسحب تياراً مقداره ٣٢ أمبير ويعطي قدرة خرج ٦ ك. وات، فإذا كان تيار المجال ١ أمبير ومقاومة ملفات المنتج ٩, أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب ٠,٠٣ ويبر أوجد –السرعة –العزم المستفاد.

٨- محرك تيار توزٍ مستمر ٢٢٠ فولت يدور بسرعة ٥٠٠ لفة/دقيقة عندما يأخذ المنتج ٥٠ أمبير. أوجد السرعة التي يدور بها المحرك إذا ازداد العزم إلى الضعف، علما بأن مقاومة المنتج ٢,. أوم

٩- محرك تيار توالٍ مستمر ٢٥٠ فولت- ٤ أقطاب ملفوف لف تموجي ويحتوي المنتج على ٧٨٤ موصل. فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي ٥, أوم ، ٢٥, أوم والفيض المغناطيسي لكل قطب ٢٥ ميللى ويبر، أوجد كل من السرعة والعزم الكلي للمحرك عندما يسحب تيار مقداره ٤٠ امبير.

١٠- محرك توالٍ ٢٤٠ فولت يدور بسرعة ٨٥٠ لفة/دقيقة ويسحب تياراً مقداره ١٠٠ أمبير، فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات المجال على الترتيب هي ١٥, أوم ، ١, أوم، أوجد السرعة التي يدور بها المحرك عندما يسحب تياراً مقداره ٣٠ أمبير، مع العلم بأن الفيض المغناطيسي قد انخفض إلى النصف.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر

١١- محرك تواً ٥٠٠ فولت يسحب عند الحمل الكامل تياراً قدره ٥٥ أمبير ليعطي خرجاً قدره ٢١ حصان، فإذا كانت مقاومة ملفات المنتج ٨,. أوم ومقاومة ملفات المجال ٢٤٥ أوم. احسب المفقودات النحاسية والحديدية للمحرك عند الحمل الكامل.

١٢- محرك مركب طويل ملفوف لفاً انطباقياً ذو ٤ أقطاب ويحتوي المنتج على ٨٢٠ موصل والفيض المغناطيسي لكل قطب ٢ ميجاخط، يدور عند اللاحمل بسرعة ١٢٠٠ لفة/دقيقة عندما يمر في المنتج تيار قدره ٦ أمبير ، وعند الحمل الكامل يمر في المنتج ١٢٠ أمبير. فإذا كانت مقاومة المنتج وملفات التوالي وملفات التوازي على الترتيب هي ١٥,. أوم ، ٠,٠٥ أوم، ١٢٠ أوم، أوجد:

- قدرة المحرك عند الحمل الكامل بالحصان – عزم وكفاءة المحرك عند الحمل الكامل.

WWW.DZPEN.COM | قلم الجزائر